

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-21339

(43)公開日 平成5年(1993)1月29日

(51)Int.Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/20		9171-4M		
21/208	M	7353-4M		
27/08	3 3 1 E	7342-4M		
27/12		8728-4M		
		9056-4M		
			H 0 1 L 29/ 78	3 1 1 F

審査請求 未請求 請求項の数2(全 9 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平3-195905

(22)出願日 平成3年(1991)7月10日

(71)出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(71)出願人 000115706

リコー応用電子研究所株式会社

宮城県名取市高館熊野堂字余方上5番地の10

(72)発明者 日野 威

宮城県名取市高館熊野堂字余方上5番地の10 リコー応用電子研究所株式会社内

(74)代理人 弁理士 友松 英爾

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 薄膜半導体装置とその製法

(57)【要約】

【目的】 基板上の任意の位置にP型半導体領域とn型半導体領域よりなる不純物含有半導体領域と不純物を含まない半導体領域が形成されたSOI基板を提供することにより、SOIデバイス・プロセスの工程を短縮させ、歩留りを向上させること。

【構成】 絶縁性基板上に半導体薄膜が形成されている薄膜半導体装置において、同一絶縁性基板上の前記半導体薄膜には単結晶の領域と多結晶の領域が存在し、かつ前記半導体薄膜にはP型活性領域とn型活性領域が存在していることを特徴とする。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 絶縁性基板上に半導体薄膜が形成されている薄膜半導体装置において、同一絶縁性基板上の前記半導体薄膜には単結晶の領域と多結晶の領域が存在し、かつ前記半導体薄膜にはP型活性領域とn型活性領域が存在していることを特徴とする薄膜半導体装置。

【請求項2】 同一絶縁性基板上に多結晶半導体領域、P型不純物含有多結晶半導体領域およびn型不純物含有多結晶半導体領域を形成し、その上に表面保護層を形成した後、半導体に吸収される第1のレーザ光と絶縁性基板に吸収される第2のレーザ光を、第2のレーザ光の照射領域が第1のレーザ光の照射領域をカバーしており、かつ第2のレーザ光の照射領域は、前記多結晶半導体領域、P型不純物含有多結晶領域およびn型不純物含有多結晶領域の少くとも1つをカバーするように照射させ、第1のレーザ光照射部分を熔融再結晶化することを特徴とする請求項1記載の薄膜半導体装置の製法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【技術分野】 本発明は、絶縁性基板上に少くとも1つの領域が単結晶よりなる薄膜半導体層をもつ薄膜半導体装置に関する。

【0002】

【従来技術】 絶縁性基板上に単結晶半導体薄膜を形成する手法、いわゆるSOI形成法については、従来より数多く提案されている。これらの多くは絶縁性基板上に非晶質あるいは多結晶半導体薄膜を形成し、この非晶質あるいは多結晶シリコン薄膜を種々の熱源により熔融再結晶化させて単結晶化させるものである。この場合の熱源としては、レーザ光、電子ビーム、種々のランプ光、ワイヤー状のカーボンヒーター等がある。これらの従来技術では、熔融再結晶化させる際には、ノンドープで再結晶化させ、この後、SOI上にデバイス形成する際に不純物を導入していた。これは、再結晶化の際に不純物を導入すると再結晶化のための条件が変わるため、基板上的任意の領域にP型半導体領域・n型半導体領域を形成することが困難だったためである。このため、SOIを用いてデバイスを形成する際に、不純物を導入する工程が必要となり、工程がはげしくなると歩留りを下げる原因となっていた。

【0003】

【目的】 本発明の目的は、基板上的任意の位置にP型半導体領域とn型半導体領域よりなる不純物含有半導体領域と不純物を含まない半導体領域が形成されたSOI基板を提供することにより、SOIデバイス・プロセスの工程を短縮させ、歩留りを向上させることである。本発明の他の目的は、レーザ光の照射位置・出力の制御性の良さを利用し、熔融再結晶化の際に、任意の位置に、P型半導体領域・n型半導体領域よりなる不純物含有半導体領域と不純物を含まない半導体領域を形成することで

ある。

【0004】

【構成】 本発明の第1は、絶縁性基板上に半導体薄膜が形成されている薄膜半導体装置において、同一絶縁性基板上の前記半導体薄膜には単結晶の領域と多結晶の領域が存在し、かつ前記半導体薄膜にはP型活性領域とn型活性領域が存在していることを特徴とする薄膜半導体装置に関する。本発明の第2は、同一絶縁性基板上に多結晶半導体領域、P型不純物含有多結晶半導体領域およびn型不純物含有多結晶半導体領域を形成し、その上に表面保護層を形成した後、半導体に吸収される第1のレーザ光と絶縁性基板に吸収される第2のレーザ光を、第2のレーザ光の照射領域が第1のレーザ光の照射領域をカバーしており、かつ第2のレーザ光の照射領域は、前記多結晶半導体領域、P型不純物含有多結晶領域およびn型不純物含有多結晶領域の少くとも1つをカバーするように照射させ、第1のレーザ光照射部分を熔融再結晶化することを特徴とする請求項1記載の薄膜半導体装置の製法に関する。

【0005】 以下、本発明の半導体薄膜層としては、シリコンについて詳述するが、本発明はシリコンに限らず、周期率IV族、III-V族、II-VI族の単体、あるいは化合物半導体であって、その結晶構造がダイヤモンド構造、あるいはジंकブレンド構造を持つすべての材料に適用可能であり、具体的には、Siの他Ge、SiC、BN、BP、BAs、AlP、AlSb、GaP、GaAs、GaSb、InP、InAs、InSb、ZnS、ZnSe、ZnTe、CdS、CdSe、CdTe、CdHg等である。

【0006】 本発明に開示される薄膜半導体装置の製法は絶縁性基板上に帯域熔融再結晶化法で単結晶シリコン薄膜を形成する場合にシリコンに吸収されるレーザ光と絶縁性基板に吸収されるレーザ光を同時に照射してシリコンを熔融して再結晶させ、さらには二つのレーザ光を照射してシリコン層を熔融再結晶化させるときに二つのレーザ光の出力、ビーム形状、照射位置等の照射条件を変えることにより単結晶シリコン薄膜がP型領域とn型領域をもつようにする。

【0007】 絶縁性基板上に形成された非晶質あるいは多結晶シリコンの熔融再結晶化法による単結晶シリコンの形成の様子については以下のように説明できる。種々の熱源により絶縁性基板上に形成された非晶質あるいは多結晶シリコンを加熱溶解し（シリコンの融点1412℃）、その加熱箇所をシリコン層上で相対的に走査した場合、溶解したシリコンはその熱源の移動に伴い冷却固化し、再結晶化する。この時加熱により溶解している部分の温度分布が図1に示すごとく中央部が高く周辺部が低くなっている状況では溶解シリコンの再結晶化は溶解部の周辺から多数同時に開始し、その結果再結晶化シリコンは多結晶体となってしまう。そのような多結晶化

を防いで再結晶化を行なうためには、溶融領域における温度プロファイル（本発明の中で述べられる温度プロファイルとはシリコンの溶融再結晶化過程、即ち加熱、溶融、冷却、固化の一連の現象における温度の変化を表わし、具体的には前記の一つあるいは複数の状態における温度、あるいは温度を表わす物理量を計測することによって表わされる。）を中央部が周辺より低い状態にすれば良いことが知られている。こうすることにより図2に示すごとく再結晶化は常に中央部より始まることになり、再結晶化シリコンは単結晶として得られることになる。これらの加熱源としてはレーザー光が主に用いられ、熱源の走査速度は概ね数10cm/sec程度である。さらに絶縁性基板上で溶融再結晶化法により単結晶シリコン薄膜を形成するもう一つの方法としては帯域溶融再結晶化法（Zone Melting Recrystallization）がある。この方法に単結晶シリコンの形成の様子は以下のように述べられている。図3にその概略を示したが溶融再結晶化を行なうシリコン層を帯状に加熱溶融するとき、帯状に溶融している領域8以外のシリコン層はシリコンの融点近傍の温度まで加熱しておいて、その溶融領域を移動させることによりシリコンを固化再結晶させて単結晶シリコンを得るものである。この時溶融シリコンの凝固の固液界面には図4に示すようにシリコンの融点1412℃を過ぎても液体の状態を保っている過冷却状態の領域が存在し、シリコンの再結晶化の固液界面はこの過冷却領域の中でシリコンの結晶面の中で一番成長が遅い（111）面のファセット（小さな結晶面）の集まりにより形成されるといわれている。単結晶シリコンの形成は帯状の溶融領域8の移動に伴い、過冷却領域が移動しこの過冷却領域の中でシリコンの（111）面で構成されるファセット面が連続的に成長することによりなされるものである。この帯状の溶融領域を形成する手法としては基板上に近接して置かれた線状のカーボンヒータで加熱する方法、あるいは

RF誘導加熱法等がある。この手法における帯状の溶融領域の移動速度は概ね数mm/sec程度であり、再結晶化の固液界面においては熱平衡に近い状態が実現されていることがこの手法の特徴であるといえる。このような帯域溶融再結晶化法により形成された再結晶単結晶シリコン薄膜で絶縁性基板が石英ガラスで（あるいはSiO₂層）、かつ再結晶化時の表面保護膜として熱CVDで形成したSiO₂の場合には種結晶を使用しないのにもかかわらず再結晶化膜の結晶配向面は（100）面であることが知られている。

【0008】本発明者らはこの帯域溶融再結晶化法に着目し、従来の加熱法とは異なった機能を持った加熱手段を用いた帯域溶融再結晶化法を発明した。その結果、本発明方法を用いて従来の帯域溶融再結晶化法においては困難であったP型領域とn型領域を同一基板上に有する再結晶化単結晶シリコン膜を得ることを可能ならしめたものである。本発明の技術的背景について述べる。本発明においては加熱源としてシリコンに吸収されるレーザー光（以下第1のレーザー光）と絶縁性基板上に吸収されるレーザー光（以下第2のレーザー光）の2種類のレーザー光を用いている。これはこれらのレーザー光が絶縁性基板上に帯域溶融再結晶化法で単結晶シリコンを形成するのに極めて適した熱源であることによる。最初に帯域溶融再結晶化法においてレーザー加熱法が他の加熱法に比べて有利な点について述べる。図7は従来法による帯域溶融再結晶化で加熱源として一般的に使用される線状のヒータによる加熱の様子を示したものである。シリコンの溶融点に近い温度領域においては熱源の線状ヒータからの加熱は輻射加熱が主体であり、このような場合基板上の任意の点の熱源から受ける熱量は下記の式（1）により算出される。

【数1】

$$Q_{1 \rightarrow 2} \propto \int_{A_1} \int_{A_2} \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2 \cdot \frac{1}{L^2} dA_1 dA_2 \dots \dots (1)$$

$Q_{1 \rightarrow 2}$ は、基板上の任意の点が熱源から受ける熱量

L は熱源と半導体層をもつ基板との距離

A_1 は線状ヒータの熱源となる面積

A_2 は加熱を受ける半導体層の面積

dA_1 は A_1 における微小領域

dA_2 は A_2 における微小領域

ϕ_1 は dA_1 が dA_2 を見込む角度

ϕ_2 は dA_2 が dA_1 を見込む角度

式(1)の記述からも明らかなように熱源と基板との距離が2乗の重みで影響する。即ち輻射加熱により帯域溶融再結晶を安定に行なうための温度プロファイルを実現す

る場合には熱源と基板との距離を精緻にコントロールしなければならない。この熱源に対する要求は線状ヒータの場合に留まらず、他の熱源の場合でもその加熱の様式

が輻射加熱による限り必然的なものである。これに対して加熱源をレーザー光とする場合には熱の発生はレーザー光の吸収によりなされるので、基板上の温度プロファイルが基板とレーザー光源との距離に影響を受けず、またレーザー光の優れた平行性を考慮するならば光源を任意の位置から基板上まで導くことが可能である。また従来の加熱法を用いた帯域熔融再結晶化法では再結晶化の固液界面において過冷却領域を形成する必要から冷却速度を小さくしなければならない。従って固液界面の熱勾配を小さくするために基板全体をシリコンの融点近傍まで加熱する必要があった。そのために帯域熔融再結晶化を行なった後の基板は長時間にわたる高温の加熱のため熱変形を引き起こすことがしばしばあった。また加熱装置が大がかりになり、あるいは装置上の制約から基板の寸法が制約される場合もある。これに対してレーザー光を熱源とする場合にはレーザー光が他の加熱法に比べて十分に高いエネルギー密度を持っているために、レーザー照射領域は周囲への熱の逃げに抗して、十分に高い温度に保つことが可能である。よって基板全体をシリコンの融点近傍まで高温に加熱する必要はなく、従来の帯域熔融再結晶化法に見られた高温加熱による基板の変形の問題はなく、また基板加熱のための装置上の制限もない。以上のようなレーザー光を加熱源とする場合の特徴に加え、レーザー光はレンズ、ミラーといった種々の光学部品の組合せによりその大きさを任意に変えることができ、また任意の場所に導くことができるので従来の加熱法では実現が困難であった基板内の一部分のみを選択的に帯域熔融再結晶化のプロセスを行なうことが可能である。更には材料へのレーザー光の吸収は概ね材料の表面より数 $10\mu\text{m}$ の深さで留まるのでレーザーを加熱源とする場合には基板のごく表面のみを加熱しているのに過ぎない。このことにより基板表面に適切な耐熱層を形成することにより従来の帯域熔融再結晶化法では実現できなかったシリコンの融点より低い融点あるいは軟化点を持つ基板を支持体基板として使用することも可能である。

【0009】本発明は以上のような帯域熔融再結晶化においてレーザー光を加熱源とすることの利点に加えて上述の2種類のレーザー光を使用したことから新たな特徴を有している。図5に本発明が開示するような方法による帯域熔融再結晶化の様子を示した。絶縁性基板1上に形成されたシリコン層(半導体層)2に上述の第1のレーザー光4および第2のレーザー光5を同時に照射すると第1のレーザー光4はシリコン層2で吸収されここで発熱が生ずる。また第2のレーザー光5は基板1内で吸収され発熱を生ずる。即ちシリコン層2は第2のレーザー光5による予備加熱を受けた状態で第1のレーザー光4により加熱されることになる。この時の2種類のレーザー光での加熱領域の温度プロファイルは図6に示すように第2のレーザー光のビーム径(α_2)を大きく、第1のレーザービーム径(α_1)を狭くし、2種類のレーザー光の出力を最適化す

ることによりシリコンの熔融領域を形成することができる。このような温度プロファイルはレーザー光で加熱される領域においては先の図3に示したような帯域熔融再結晶化を実現する温度プロファイルと本質的に同じであり、このような温度プロファイルを保持しつつビームを基板と相対的に走査することにより前述の帯域熔融再結晶化のメカニズムにより再結晶化単結晶シリコンが得られる。さらに本手法では第1のレーザー光の照射による熱の発生はシリコン薄膜層内で起こり、第2のレーザー光の照射による熱の発生は絶縁性基板内で起こるというような異なる場所での熱の発生を起こさせることが可能である点に大きな特徴がある。本発明者らはこの2波長レーザー帯域熔融再結晶化法の特徴に着目し本手法による絶縁性基板上にシリコン薄膜の帯域熔融再結晶化法を詳細に検討し、本手法で無定形の絶縁性基板上でP型領域とn型領域を有する単結晶シリコン薄膜を得ることが可能であるという結論に達した。以下にその詳細について述べる。

【0010】以下図8を用いて本発明における薄膜半導体装置の構成要素について述べる。支持体基板11は絶縁性材料で構成される。単体材料としては石英ガラス、セラミック等の耐熱性の有する絶縁性材料が用いられるが、金属、あるいは半導体の上に適当な絶縁膜を形成した基板もまた本発明の支持体基板として用いることができる。具体的にはシリコンウエハー上に絶縁性材料として SiO_2 、 Si_3N_4 等を形成したものである。あるいはFe、Al、Cu等の金属の上に SiO_2 、 Si_3N_4 等の絶縁性材料を形成したのもまた支持体基板として使用可能である。さらには耐熱層を形成することによりシリコンの融点より低い材料も支持体基板として用いることができる。耐熱層を構成する材料としては絶縁性のもものでは SiO_2 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 Si_3N_4 、BN等、また導電性のもものではTiC、SiC等がある。耐熱層を導電性のもので構成する場合には上記の絶縁性材料と組み合わせて用いる必要がある。また場合によっては耐熱性材料を複数組み合わせて使用することもできる。これらの材料をプラズマCVD法、熱CVD法、光CVD法、LP-CVD法、MO-CVD法、スパッタ法、真空蒸着法、イオンビームクラスタ成膜法等の各種成膜法や、イオン注入法等の各種材料改質のための手法を用いて形成する。半導体あるいは金属材料上に絶縁性材料を形成して支持体基板として用いる場合、あるいは低融点材料上に耐熱層あるいは絶縁層を形成して支持体基板として用いる場合には絶縁層、耐熱層の厚さは用いる材料の第2のレーザー光の吸収を考慮に入れて定めることが望ましく、例えば第2のレーザー光に炭酸ガスレーザー光を用い、絶縁層あるいは耐熱層材料として SiO_2 を形成する場合にはその膜厚は $50\mu\text{m}$ 程度である。石英ガラス基板のような絶縁性材料を単体で支持体基板として用いる場合にはその機械的強度を保つ要求から通例

レーザの吸収厚さに比べて十分に厚い寸法が選ばれる。その値は通常 $0.3\mu\text{m}\sim 5.0\mu\text{m}$ であり、望ましくは $0.5\mu\text{m}\sim 2.0\mu\text{m}$ である。支持体基板11上で2波長レーザ帯域熔融再結晶化法により単結晶化されるシリコン層12は多結晶シリコンあるいは非晶質シリコンで構成される。このシリコン層12はプラズマCVD法、熱CVD法、光CVD法、LP-CVD法、MO-CVD法、スパッタ法、真空蒸着法、イオンビームクラスタ成膜法等の各種成膜法や、イオン注入法等の各種材料改質のための手法を用いて形成する。またこのシリコン層12は帯域熔融再結晶化過程において必要と判断される場合には通常のフォトリソグラフィの手法を用いて任意の形状に加工される場合もある。具体的にはストライプ状あるいは島状、あるいは連結島状に加工する。これらの目的はいずれも支持体基板11上でシリコン融液の移動を制限し、よってファセット成長の安定性の向上を目的としたものであり、従来より帯域熔融再結晶化法によってしばしば用いられる手法である。不純物源としてドーパされた多結晶シリコンストライプ部13、14を多結晶シリコン部12と同様の手法を用いて形成する。前記13と14は、一方がP型ならば他方はn型というようにお互いに逆の型にドーパされた多結晶シリコンとする。前記12、13、14のストライプ間隔は $1\mu\text{m}$ 以下がのぞましい。この様子は図9に示す。シリコン層12、13、14の膜厚は $0.1\mu\text{m}\sim 5.0\mu\text{m}$ の範囲で再結晶化に使用でき、望ましくは $0.3\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ の範囲である。表面保護膜15は帯域熔融再結晶化手法による単結晶シリコン薄膜の形成において不可欠なものである。これは帯域熔融再結晶化過程において熔融シリコンの蒸発あるいは表面張力による丸まり現象（ビードアップ現象）を防ぐ目的で形成される。この表面保護層15は絶縁性材料により構成され、望ましい材料としては SiO_2 、 SiO 、 Si_3N_4 、 SiN であり、これらを単独にあるいは複数組み合わせでシリコン層12に形成する。表面保護膜15の形成方法としてはプラズマCVD法、熱CVD法、光CVD法、LP-CVD法、MO-CVD法、スパッタ法、真空蒸着法、イオンビームクラスタ成膜法等の各種成膜法や、イオン注入法等の各種材料改質のための手法等である。膜厚は概ね $0.5\mu\text{m}\sim 5.0\mu\text{m}$ の範囲で最適化されて形成されるが、望ましくは $1.0\mu\text{m}\sim 2.0\mu\text{m}$ である。この表面保護層3は本発明による薄膜半導体装置を原料として半導体素子を形成する工程において除去される場合もある。

【0011】本発明の2波長レーザ帯域熔融再結晶化法における第1のレーザ光としてはシリコンに吸収帯域（おおよそ $1.2\mu\text{m}$ より短波長側）にある波長の光を出すレーザ光を広く使用できる。具体的には短波長領域の各種のエキシマレーザ、He-Cdレーザ、Arレーザ、He-Neレーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライトレーザ、YAGレーザ、あるいは半導体レーザ等が使用可能である。帯域熔融再結晶化に必要な温度プロファイ

ルを形成する熱源とするという観点からは取りだし可能な出力が比較的大きいこと、また連続発振が可能なレーザであることが望ましく、Arレーザ、YAGレーザ、あるいは高出力の半導体レーザから選ぶことが望ましい。これらのレーザ光はその照射領域を広くするためビームの途中にレーザビームエクスパンダを挿入しビームを拡大することも可能であり、さらにはレーザビームを複数本用いてビームを合成して使用することも可能である。シリコン層に照射する場合のビーム形状としては帯域熔融再結晶化法の実現に好適のように均一な線状ビームが好ましい。種々の光学機器を用いてビーム形状を線状で均一にすることが可能である。また前述のごとく複数本のビームにより均一で線状のビームを形成することが可能である。さらにはビームの高速走査により擬似的に線状のビームを形成することも可能である。基板の予備加熱に用いられる第2のレーザ光としては絶縁性材料に吸収のあるレーザ光を広く使用することができる。赤外領域のレーザ光は広く絶縁性材料に吸収されるので第2のレーザ光としては好適である。具体的には炭酸ガスレーザあるいは一酸化炭素ガスレーザ等が使用できる。第2のレーザビームのビーム形状としては必ずしも線状である必要はない。前述の第1のレーザビームに重ねて照射する場合において、第1のレーザの加熱により熔融してシリコンの再結晶化の熱プロファイルを制御するのに十分な大きさのビーム形状であれば良く図10のごとく線状に形成した第1のレーザビームの長さを L_1 とすると第2のレーザのこの方向での長さ L_2 は $L_2 > L_1$ が必要であり、望ましくは $L_2 > 1.2L_1$ である。なお、レーザビームは通常は丸形で得られるが、種々の手段により細長い楕円状や実質長方形の形状にしたりして使用することができる。

【0012】第2のレーザは第1のレーザ光と共にシリコン層の帯域熔融再結晶化の熱源として用いられるが、第1のレーザ光での加熱が主としてシリコンを熔融することを目的として用いられるのに対して第2のレーザ光での加熱は熔融シリコンの冷却固化再結晶化過程を制御するために用いられる。そのため第2のレーザ光で加熱される領域は均一な温度プロファイルを示すようにしなければならない。そのために第2のレーザ光のビームは第1のレーザ光のビームに比べて広い領域で均一なパワー密度であることが必要である。カライドスコープ、セグメントミラー等の種々の光学機器を用いてビーム出力を平坦化することが可能である。また前述の第1のレーザ光の場合と同様に複数のレーザビームを合成して平坦な合成ビームを形成しても良い。またビームを走査することで加熱部の温度プロファイルを平坦化することも可能である。またこれらのレーザ光としては連続発振型の他にパルス発振型のレーザ光を使用することも可能である。このようにして第2のレーザ光のビームは概ね第1のレーザ光のビームを囲うような配置で基板上に照射さ

れるが、第2のレーザ光のビームの外周近傍においてはビーム内部とビーム外部の大きな温度差によりたとえビーム強度が均一であっても温度勾配が生ずる場合がある。このような場合にはビームの外周部を強調したビームプロファイルを用いて温度の平坦化を図ることもできる。

【0013】2波長レーザ帯域熔融再結晶化法において用いられる第1のレーザ光と第2のレーザ光は前述の構成の他にそれぞれのレーザ光の強度が照射している場所の温度の変化に応じて変調できなければならない。熔融シリコンの温度の範囲あるいは固液界面のファセット面の傾きを決定する温度勾配のような熔融再結晶化温度プロファイルを実現するためには照射するレーザ光の出力をフィードバックにより制御することが必要である。何故なら第1のレーザ光あるいは第2のレーザ光の吸収により発生する熱量は吸収する層の膜厚、表面の反射率等様々な要因により変化する。従って帯域熔融再結晶化過程を通じて温度プロファイルを安定に制御するためには光強度のフィードバック制御が必要である。更には前に述べた理由により配向性の制御のためには温度プロファイルのコントロールが必要である。このようなレーザの光強度のフィードバック制御については平成3年5月15日に出版した特許番号9101208号で詳述したとおりである。このように、レーザ光は光学部品を用いることによって、レーザ光の照射位置を制御して、図8の薄膜半導体装置のうち、単結晶化するべき多結晶シリコン・ストライプだけに照射したり、隣接する不純物源となるドーブと多結晶シリコン・ストライプも同時に照射したりすることができる。また、レーザ光の出力を制御することにより、単結晶化するシリコン層へ導入する不純物の量を制御し、不純物が入ることにより変わる再結晶化条件に対応する。以下に本発明の具体的な実施例について述べる。

【0014】

【実施例】実施例1

本実施例では第1のレーザ光としてArレーザ光、第2のレーザ光として炭酸ガスレーザ光を用いた。再結晶化膜を形成する基板は以下のようにして作成する。図11において支持体基板11は厚さ1.0mmの透明石英ガラス基板を用いた。このガラス支持体基板11を常法により洗浄し減圧化学気相成長装置(LPCVD装置)を用い帯域熔融再結晶化法により単結晶化されるシリコン層12として多結晶シリコン薄膜を形成した。その膜厚は3500Åである。つぎにこの多結晶シリコン薄膜12をフォトリソグラフィの手法により図12のように巾500μmのストライプに加工した。このストライプの両脇に、前述と同様の手法により、P型多結晶シリコン・ストライプ13とn型多結晶シリコン・ストライプ14を形成した。P型多結晶シリコン・ストライプとn型多結晶シリコン・ストライプの巾は50μmとし、ストライプ間の間隔は1μmとした。

多結晶シリコン12、P型多結晶シリコン13、n型多結晶シリコン14の上にLPCVD装置を用いて帯域熔融再結晶化の時の表面保護層としてSiO₂薄膜15を厚さ1.2μmに形成した。このように形成した多結晶シリコン薄膜試料を前述のArレーザ光(第1のレーザ光)と炭酸ガスレーザ光(第2のレーザ光)で同時に照射加熱熔融し帯域熔融再結晶化法により単結晶化する。以下に、レーザの照射方法を述べる。再結晶化後にノンドープの単結晶シリコンを得るには図13のように照射する。第1のレーザ光、第2のレーザ光とも多結晶シリコン・ストライプ12だけに照射されるように調節する(第1のレーザ照射領域を16、第2のレーザ照射領域を17で示す)。再結晶化時には、試料はレーザ光を照射するだけではなく、炉中にて900℃に予備加熱を行なった。レーザ光の走査速度は1.0mm/sであった。レーザ光の出力条件はレンズ等の収束のさせ方により一概に述べることはできないが、Arレーザ(第1のレーザ光)1W、炭酸ガスレーザ光(第2のレーザ光)10Wで、良好に再結晶化する条件を得ることができた。以下に述べるP型単結晶シリコン薄膜あるいはn型単結晶シリコン薄膜を得るため熔融再結晶化法は、レーザ光の照射位置と出力条件、あるいは必要に応じて、レーザの使用本数を増やすことを行なう。走査速度、炉の温度は前に述べたものと同じ条件で行なう。P型単結晶シリコン薄膜を得る方法を図14に示す。炭酸ガスレーザ光(第2のレーザ光)17がP型多結晶シリコン・ストライプ13にもかかるように照射する。P型多結晶シリコン・ストライプ13は炭酸ガスレーザ光17が照射されるが、熔融はしない。P型多結晶シリコン・ストライプ13に含まれるP型不純物元素は炭酸ガスレーザ光の加熱によって拡散し、多結晶シリコン・ストライプ12が熔融再結晶化を行なう際に、溶け込んで再結晶化する。図14よりも、さらに、不純物元素の含有量を増やす方法を図15に示す。Arレーザ光(第1のレーザ光)16も炭酸ガスレーザ光(第2のレーザ光)17もP型多結晶シリコン・ストライプ13にかかるように照射する。この場合には、P型多結晶シリコン・ストライプ13も熔融が行なわれ、図14の場合よりも多くのP型不純物元素を出すことになる。次に、n型単結晶シリコン薄膜を得る方法を図16、図17に示す。上でP型単結晶シリコン薄膜を得たのと同じ方法により、図17は図16の照射方法より不純物含有量の多いn型単結晶シリコン薄膜を得ることができる。図14、図15、図16、図17の照射条件の場合には、図13の照射条件に比較して、不純物元素が入るため、過冷却になりやすいため、Arレーザの出力を出力密度にして図13の場合よりも、10%程度低くする。以上のように、熔融再結晶化の走査中に、レーザ光の照射位置と出力を調整することにより、図18のような、P型領域13とn型領域14をもった単結晶シリコン薄膜を得ることができる。図18は、図13、図14、図15、図16、図17よりも引き延ばして見た図であり、再結晶化工

程中に、ノンドープ領域、P型領域13、n型領域14を任意に形成できることを示している。このような薄膜半導体装置の応用例としてはP型とn型の単結晶領域を利用して相補型のFETデバイス(C-MOS)の形成がある。

【0015】

【効果】本発明により、1つの半導体層上の特定領域毎にP型とn型の領域をもつ不純物単結晶半導体領域と、不純物を含まない単結晶または多結晶の半導体領域をもつもので構成された新しいタイプの薄膜半導体装置を提供できた。本発明によれば、同一基板上に目的、用途に適した物性を有する各種半導体領域が存在しているので、デバイス設計、製造プロセス等の面での自由度が広がるとともに、高性能のデバイスを提供することができる。本発明の薄膜半導体装置は同一の絶縁性基板上に、P型の領域とn型の領域の2つの不純物半導体領域を有しているので、この部材を用いて半導体デバイスを形成する場合に、イオン打ち込み等の不純物導入の工程を省略できるので、工程を短くすることができ、歩留りを向上することができる。また、本発明の方法を用いれば、レーザ光の制御性の良い特徴を利用して、本発明の薄膜半導体装置を効率よく得ることができる。本発明は、単結晶化されるべき領域の周辺に、P型およびn型の両方の型の不純物源があるため、単結晶化工程中にレーザ照射方法を選定することにより、任意にノンドープ領域、P型領域、n型領域を形成できる。そのため、ASIC等のようにプロセスが変わることが予想される回路の部材として好適なものが提供できた。

【図面の簡単な説明】

【図1】 熔融再結晶法における温度分布の具合によっては多結晶化することを示す概略図である。

【図2】 熔融再結晶法における温度分布の具合によっては単結晶化することを示す概略図である。

【図3】 (a)は、再結晶化の方向(矢印)におけるシリコン薄膜の好ましい温度分布を示し、シリコンの融点1412℃を上まわる温度の個所が熔融再結晶化が行われている個所である。

(b)は、シリコン薄膜の層を有する絶縁性基板よりなる薄膜半導体装置の概略図であり、8はシリコンの熔融部分を示す。

【図4】 熔融シリコンの固液界面の状態図である。

【図5】 本発明の帯域熔融再結晶化の状態を示す薄膜半導体の断面図である。

【図6】 本発明の2種類のレーザ光による加熱領域の温度プロファイルを示す。

【図7】 線状ヒータを用いた帯域熔融法の概略図である。

【図8】 本発明の薄膜半導体装置の1例を示す断面図である。

【図9】 図8のX-X線の個所からみた平面図である。

【図10】 本発明の薄膜半導体装置に用いる2波長レーザ帯域熔融再結晶法が可能な第1レーザ光と第2レーザ光との好適な相対的位置関係を示した図である。

【図11】 本発明実施例の薄膜半導体装置の断面図である。

【図12】 図11のX-X線の個所からみた平面図である。

【図13】 本発明における第1のレーザ光と第2のレーザ光の照射条件を説明するための概略図である。

【図14】 本発明における第1のレーザ光と第2のレーザ光の他の照射条件を説明するための概略図である。

【図15】 本発明における第1のレーザ光と第2のレーザ光の他の照射条件を説明するための概略図である。

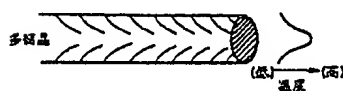
【図16】 本発明における第1のレーザ光と第2のレーザ光の他の照射条件を説明するための概略図である。

【図17】 本発明における第1のレーザ光と第2のレーザ光の他の照射条件を説明するための概略図である。

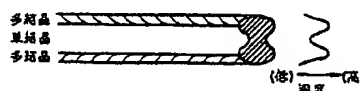
【符号の説明】

- 1 絶縁性基板
- 2 半導体層(シリコン層)
- 3 表面保護層
- 4 第1のレーザ光
- 5 第2のレーザ光
- 8 熔融帯域
- 11 絶縁性基板
- 12 不純物を含まない半導体領域
- 13 P型活性半導体領域
- 14 n型活性半導体領域
- 15 表面保護層
- 16 第1のレーザ光(照射部分)
- 17 第2のレーザ光(照射部分)

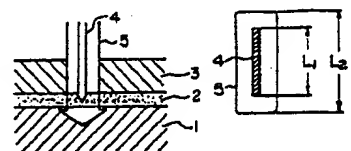
【図1】



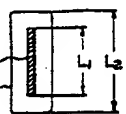
【図2】



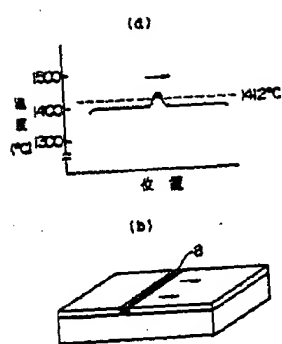
【図5】



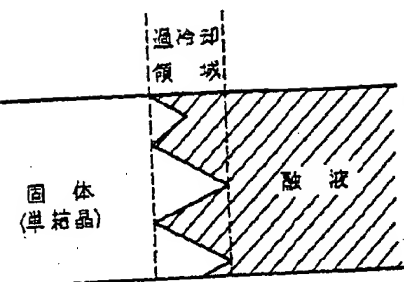
【図10】



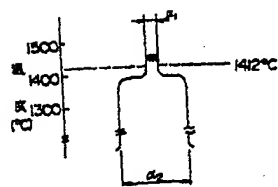
【図3】



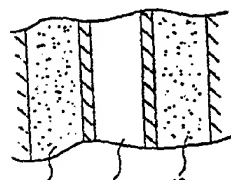
【図4】



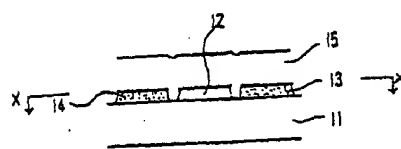
【図6】



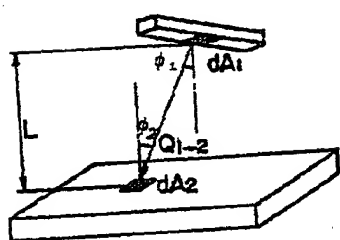
【図9】



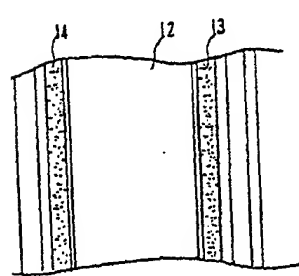
【図8】



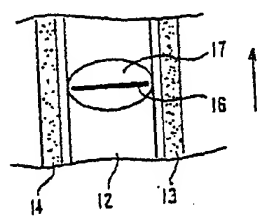
【図7】



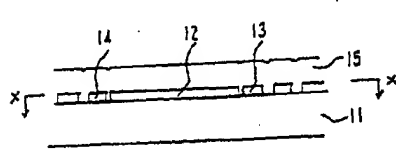
【図12】



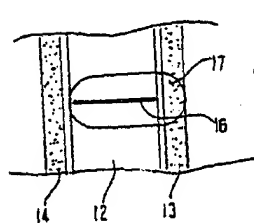
【図13】



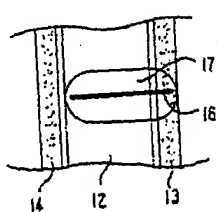
【図11】



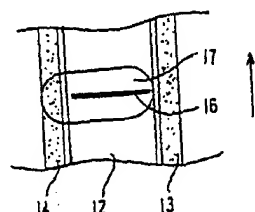
【図14】



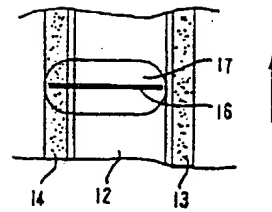
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 5

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H O 1 L 29/784

// H O 1 L 21/268

B 8617-4M

(72) 発明者 大高 剛一

宮城県名取市高館熊野堂字余方上5番地の
10 リコー応用電子研究所株式会社内

(72) 発明者 入野田 貢

宮城県名取市高館熊野堂字余方上5番地の
10 リコー応用電子研究所株式会社内

(72) 発明者 佐藤 幸人

宮城県名取市高館熊野堂字余方上5番地の
10 リコー応用電子研究所株式会社内

(72) 発明者 熊野 勝文

宮城県名取市高館熊野堂字余方上5番地の
10 リコー応用電子研究所株式会社内

Translation of JP-A-5-21339 (1/29/93)

(21) Patent Application No. : 195905/1991

(22) Date of Filing : July 10, 1991

(71) Applicant for a Patent : 000006747

Ricoh Co., Ltd.

1-3-6, Nakamagome

Ohta-ku, Tokyo

(71) Applicant for a Patent : 000115706

Research and Development Group

of General Electronics

Research and Development

Center of Ricoh Co., Ltd.

5-10, Yokara-kami

Takadatekumanodou, Natori-shi

Miyagi

(72) Inventor

: Takeshi HINO

c/o Research and Development

Group of General Electronics

Research and Development

Center of Ricoh Co., Ltd.

5-10, Yokara-kami

Takadatekumanodou, Natori-shi

Miyagi

(72) Inventor

: Takekazu OHTAKA

c/o Research and Development
Group of General Electronic
Research and Development
Center of Ricoh Co., Ltd.
5-10, Yokara-kami
Takadatekumanodou, Natori-shi
Miyagi

(72) Inventor

: Mitsugu IRINODA

c/o Research and Development
Group of General Electronics
Research and Development
Center of Ricoh Co., Ltd.
5-10, Yokara-kami
Takadatekumanodou, Natori-shi,
Miyagi

(72) Inventor

: Yukihiro SATO

c/o Research and Development
Group of General Electronics
Research and Development
Center of Ricoh Co., Ltd.
5-10, Yokara-kami,
Takadatekumanodou, Natori-shi
Miyagi

(72) Inventor

: Katsufumi KUMANO

c/o Research and Development

Group of General Electronics

Research and Development

Center of Ricoh Co., Ltd.

5-10, Yokara-kami,

Takadatekumanodou, Natori-shi

Miyagi

(74) Agent

: Patent Attorney

Eiji TOMOMATSU

(54) [Title of the Invention]

Thin Film Semiconductor Device and

Its Manufacturing Method

(57) [Abstract]

[Object]

By providing an SOI substrate in which an impurity containing semiconductor region constructed by a P-type semiconductor region and an n-type semiconductor region and a semiconductor region containing no impurity are formed in an arbitrary position on the substrate, processing steps of an SOI device process are shorten, thereby improving a yield.

[Structure]

In a thin film semiconductor device in which a semiconductor thin film is formed on an insulating

substrate, it is characterized that a monocrystalline region and a polycrystalline region exist in the semiconductor thin film on the same insulating substrate and a P-type active region and an n-type active region exist in the semiconductor thin film.

[Scope of Claim for Patent]

[Claim 1]

A thin film semiconductor device in which a semiconductor thin film is formed on an insulating substrate, characterized in that a monocrystalline region and a polycrystalline region exist in said semiconductor thin film on the same insulating substrate and a P-type active region and an n-type active region exist in said semiconductor thin film.

[Claim 2]

A manufacturing method of a thin film semiconductor device of claim 1, characterized by comprising the steps of

forming polycrystalline semiconductor region, a P-type impurity containing polycrystalline semiconductor region, and an n-type impurity containing polycrystalline semiconductor region on the same insulating substrate,

forming a surface protecting film on said regions, after that,

irradiating a first laser beam that is absorbed into a semiconductor and a second laser beam that is absorbed into

an insulating substrate so that an irradiating region of said second laser beam covers an irradiating region of said first laser beam and said irradiating region of the second laser beam covers at least one of said polycrystalline semiconductor region, P-type impurity containing polycrystalline region, and n-type impurity containing polycrystalline region, and

melting and recrystallizing said first laser beam irradiating region.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technical Field]

The present invention relates to a thin film semiconductor device having a thin film semiconductor layer in which at least one region is made of monocrystal on an insulating substrate.

[0002]

[Prior Art]

As for a method of forming a monocrystalline semiconductor thin film on an insulating substrate, what is called an SOI forming method, many methods have been proposed so far. In most of the methods, a non-crystalline or polycrystalline semiconductor thin film is formed on an insulating substrate and the non-crystalline or polycrystalline silicon thin film is melted by various heat

sources and is recrystallized, so that it is monocrystallized. As heat sources in this case, there are a laser beam, an electron beam, various lamp light, and a wire carbon heater. In the prior arts, when the thin film is melted and recrystallized, it is recrystallized without doping and, after that, impurities are introduced when a device is formed on the SOI. The reason is that since conditions of the recrystallization are changed when impurities are introduced upon recrystallization, it is difficult to form a P-type semiconductor region and an n-type semiconductor region in an arbitrary region on the substrate. Consequently, when the device is formed by using the SOI, a processing step of introducing impurities is needed. Since the processing step is complicated, it results in a cause of decreasing a yield.

[0003]

[Object]

It is an object of the invention to provide an SOI substrate in which an impurity containing semiconductor region comprising a P-type semiconductor region and an n-type semiconductor region and a semiconductor region containing no impurity are formed in an arbitrary position on a substrate, thereby reducing processing steps of an SOI device process and improving a yield. Another object of the invention is to form an impurity containing semiconductor

region comprising a P-type semiconductor region and an n-type semiconductor region and a semiconductor region containing no impurity in an arbitrary position upon melting recrystallization by using a good controllability of an irradiating position and a power of a laser beam.

[0004]

[Structure]

The first aspect of the invention relates to a thin film semiconductor device in which a semiconductor thin film is formed on an insulating substrate, characterized in that a monocrystalline region and a polycrystalline region exist in the semiconductor thin film on the same insulating substrate and a P-type active region and an n-type active region exist in the semiconductor thin film. The second aspect of the invention relates to a manufacturing method of a thin film semiconductor device of claim 1, characterized in that a polycrystalline semiconductor region, a P-type impurity containing polycrystalline semiconductor region, and an n-type impurity containing polycrystalline semiconductor region are formed on the same insulating substrate, a surface protecting film is formed on the regions, after that, a first laser beam that is absorbed into a semiconductor and a second laser beam that is absorbed into an insulating substrate are irradiated so that an irradiating region of the second laser beam covers an

irradiating region of the first laser beam and the irradiating region of the second laser beam covers at least one of the polycrystalline semiconductor region, P-type impurity containing polycrystalline region, and n-type impurity containing polycrystalline region, and a first laser beam irradiating portion is melted and recrystallized.

[0005]

The invention will now be described in detail hereinbelow with respect to a case of using silicon as a semiconductor thin film. According to the invention, it is not limited to silicon but the invention can be also applied to all of materials made of a single or compound semiconductor of Group IV, Group III-V, or Group II-VI of the periodic system in which the crystal structure is a diamond structure or a zinc blende structure. Specifically speaking, in addition to Si, Ge, SiC, BN, BP, BAs, AlP, AlSb, GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs, InSb, ZnS, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe, CdTe, CdHg, and the like.

[0006]

In a manufacturing method of a thin film semiconductor device disclosed in the invention, when a monosilicon thin film is formed on an insulating substrate by a zone melting recrystallization, silicon is melted by simultaneously irradiating a laser beam that is absorbed into silicon and a laser beam that is absorbed in the insulating substrate and

is recrystallized. Further, when a silicon layer is melted and recrystallized by irradiating two laser beams, irradiating conditions such as powers, beam shapes, and irradiating positions of the two laser beams are changed, thereby allowing the monosilicon thin film to have a P-type region and an n-type region.

[0007]

A situation in which monosilicon is made from non-crystalline or polycrystalline silicon formed on the insulating substrate by the melting recrystallization will now be explained as follows. The non-crystalline or polycrystalline silicon formed on the insulating substrate is heated and melted by various heat sources (the melting point of silicon is 1412 °C). When the heated portion is relatively scanned on the silicon layer, the molten silicon is cooled and solidified in association with a movement of the heat source and is recrystallized. As shown in Fig. 1, when a temperature distribution of a melting portion by heating at this time shows a situation in which a temperature of the center portion is high and that of a periphery is low, a lot of recrystallization of molten silicon simultaneously start from the periphery of the melting portion. Consequently, the recrystallized silicon results in polycrystalline substance. In order to prevent such a polycrystallization and to perform the

recrystallization, it is known that it is sufficient to set a temperature profile (temperature profile described in the invention indicates a change in temperature of silicon in a melting recrystallizing procedure of silicon, namely, a series of phenomena such as heating, melting, cooling, and solidifying and, specifically speaking, it is expressed by measuring a temperature or a physical quantity indicative of a temperature in the foregoing one or plurality of states) in the melting region to a state in which a temperature of the center portion to be lower than that of the periphery. In this manner, as shown in Fig. 2, the recrystallization always starts from the center portion and the recrystallized silicon is obtained as monocrystal. As a heat source, a laser beam is mainly used. A scanning speed of the heat source is generally equal to about tens of cm/sec. Further, as another method of forming a monosilicon thin film on an insulating substrate by the melting recrystallization, there is a zone melting recrystallization. In the method, a situation in which monosilicon is formed is described as follows. Its schematic is shown in Fig. 3. When a silicon layer in which the melting recrystallization is performed is zonally heated and melted, the silicon layer except for a zonally melting region 8 is heated up to a temperature near the melting point of silicon and silicon is solidified and recrystallized by moving the melting region, thereby

obtaining monosilicon. In a solid-liquid interface of congelation of molten silicon at that time, as shown in Fig. 4, a region in a supercooling state, which is held in a liquid state when the temperature exceeds the melting point of silicon of 1412 °C, exists and it is known that the solid-liquid interface of the recrystallization of silicon is formed by a group of facets (small crystal plane) of the (111) plane of the slowest growing speed among the crystal planes of silicon in the supercooling region. The formation of monosilicon is made in such a manner that the supercooling region is moved in association with the zone melting region 8 and the facet plane constructed by the (111) plane of silicon are continuously grown in the supercooling region. As a method of forming the zone melting region, there is a method of heating by a linear carbon heater located close over the substrate or an RF induction heating method. A moving speed of the zone melting region in the method is almost equal to about several mm/sec. A fact that a state which is approximate to a thermal equilibrium is realized in the solid-liquid interface of the recrystallization can be regarded as characteristics of the method. In the case of a recrystallized monosilicon thin film formed by such a zone melting recrystallization using quartz glass (or an SiO_2

layer) as an insulating substrate and SiO₂ formed by a thermal CVD as a surface protecting film upon recrystallization, it is known that a crystal orientation plane of the recrystallized film is the (100) plane in spite of a fact that no species crystal is used.

[0008]

The present inventors paid attention to the zone melting recrystallization and invented the zone melting recrystallization using heating means having a function different from that of the conventional heating method. Consequently, by using the method according to the invention, it is possible to obtain a recrystallized monosilicon film having a P-type region and an n-type region on the same substrate, which is difficult in the conventional zone melting recrystallization. A technical background of the invention will now be described. In the invention, as heat sources, two kinds of laser beams such as a laser beam (hereinbelow, referred to as a first laser beam) that is absorbed into silicon and a laser beam (hereinbelow, referred to as a second laser beam) that is absorbed into an insulating substrate are used. Because those laser beams are heat sources which are extremely suitable for forming monosilicon on the insulating substrate by the zone melting recrystallization. First, a point that

the laser heating method has an advantage over the other heating methods in the zone melting recrystallization will now be described. Fig. 7 shows a heating state by a linear heater which is generally used as a heat source in the zone melting recrystallization by the conventional method. In a temperature region that is approximate to the melting point of silicon, a radiation heating is mainly used as a heating from the linear heater as a heat source. In such a case, a thermal quantity which is received from the heat source on an arbitrary point on the substrate is calculated from the following expression (1).

[Expression 1]

$$Q_{1 \rightarrow 2} \approx \int_{A_1} \int_{A_2} \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2 \cdot \frac{1}{L^2} dA_1 dA_2 \quad \dots (1)$$

Q_{12} denotes a thermal quantity which an arbitrary point on the substrate receives from the heat source

L denotes a distance between the heat source and the substrate having a semiconductor layer

A_1 denotes an area serving as a heat source of the linear heater

A_2 denotes an area of the semiconductor layer which receives a heating

dA_1 denotes a micro region in A_1

dA_2 denotes a micro region in A_2

ϕ_1 denotes an angle which is defined by dA_1 and dA_2

ϕ_2 denotes an angle which is defined by dA_2 and dA_1

As will be obviously understood from the description of the expression (1), the distance between the heat source and the substrate exerts an influence by a weight of the square. That is, in the case of realizing the temperature profile to stably perform the zone melting recrystallization by the radiation heating, the distance between the heat source and the substrate has to be precisely controlled. The request to the heat source is not limited to the case of the linear heater. Even in the case of the other heat source, it is inevitable so long as the radiation heating is used as a heating method. On the other hand, when the laser beam is used as a heat source, since an occurrence of the heat is made by an absorption of the laser beam, the temperature profile on the substrate is not influenced by the distance between the substrate and the laser beam source. In consideration of an excellent parallelism of the laser beam, the light source can be guided from an arbitrary position onto the substrate. In the zone melting recrystallization using the conventional heating method, since it is necessary to form a supercooling region in the solid-liquid interface of the recrystallization, a cooling speed has to be lowered.

Therefore, it is necessary to heat the whole substrate up to a temperature near the melting point of silicon in order to reduce a thermal gradient of the solid-liquid interface. Consequently, the substrate after completion of the zone melting recrystallization is often thermally deformed due to the heating at a high temperature for a long time. Since the size of a heating apparatus becomes a large scale or there is a limitation on the device, there is a case where the dimension of the substrate is restricted. On the other hand, in the case of using the laser beam as a heat source, since the laser beam has an energy density that is sufficiently higher than that of the other heating means, a laser irradiating region can be held at a sufficiently high temperature against a thermal escape to the periphery. Accordingly, it is unnecessary to heat the whole substrate at a high temperature approximate to the melting point of silicon, there is no problem of the deformation of the substrate due to the high temperature heating generated in the conventional zone melting recrystallization, and there is also no limitation on the device to heat the substrate. In addition to the above-mentioned characteristics in the case of using the laser beam as a heat source, the size of the laser beam can be arbitrarily changed by combining various optical parts such as lens and mirror and the laser beam can be also guided to an arbitrary location, so that it

is possible to selectively execute a process of the zone melting recrystallization to only one part in the substrate, that is difficult to realize by the conventional heating method. Further, since the absorption of the laser beam into a material is stopped at a depth of about tens of μm from the surface of the material, when the laser is used as a heat source, only the surface of the substrate is merely heated. Therefore, although it is impossible to realize by the conventional zone melting recrystallization, by forming a proper heat resisting layer on the substrate surface, the substrate having a melting point or a softening point that is lower than that of silicon can be also used as a supporting plate.

[0009]

According to the invention, in addition to the above-mentioned convenient point when the laser beam is used as a heat source in the zone melting recrystallization, there are new characteristics because the above-mentioned two kinds of laser beams are used. Fig. 5 shows a situation of the zone melting recrystallization by the method as disclosed in the invention. When a first laser beam 4 and a second laser beam 5 mentioned above are simultaneously irradiated onto a silicon layer (semiconductor layer) 2 formed on an insulating substrate 1, the first laser beam 4 is absorbed into the silicon layer 2 and a generation of heat occurs.

The second laser beam 5 is absorbed into the substrate 1 and the generation of heat occurs. That is, the silicon layer 2 is heated by the first laser beam 4 in a state in which the layer is preheated by the second laser 5. As for the temperature profile of the heating regions by the two kinds of laser beams at that time, as shown in Fig. 6, a beam diameter (α_2) of the second laser beam is set to be wide and a first laser beam diameter (β_1) is set to be narrow. By optimizing powers of the two kinds of laser beams, the melting region of silicon can be formed. In the region which is heated by the laser beams, such a temperature profile is substantially the same as that for realizing the zone melting recrystallization as shown in Fig. 3. By relatively scanning the beams for the substrate while maintaining the temperature profile, recrystallized monosilicon is obtained by a mechanism of the above-mentioned zone melting recrystallization. In the method, further, as typical characteristics, there is a point that it is possible to generate the heat in different locations in such a manner that the heat by the irradiation of the first laser beam occurs in the silicon thin film layer and the heat by the irradiation of the second laser beam occurs in the insulating substrate. The present inventors paid attention to the characteristics of the two-wavelength laser zone

melting recrystallization, studied in detail the zone melting recrystallization of the silicon thin film on the insulating substrate by the method, and come to the conclusion that a monocrystalline silicon thin film having a P-type region and an n-type region can be formed on an amorphous insulating substrate by the present method. Its details will now be described hereinbelow.

[0010]

Component elements of a thin film semiconductor device in the invention will now be described hereinbelow with reference to Fig. 8. A supporting plate 11 is made of an insulating material. Although an insulating material such as quartz glass or ceramic having a heat resistance is used as a single material, metal or a substrate in which a proper insulating film is formed on a semiconductor can be also used as a supporting plate of the invention. Specifically speaking, a substrate obtained by forming SiO_2 or Si_3N_4 as an insulating material on a silicon wafer is used. A substrate obtained by forming an insulating material such as SiO_2 or Si_3N_4 on metal such as Fe, Al, or Cu can be also used as a supporting plate. Further, a material in which the melting point is lower than that of silicon can be used as a supporting plate by forming a heat resisting layer. As a material for constructing the heat resisting layer,

insulating materials such as SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , Si_3N_4 , and BN exist and conductive materials such as TiC and SiC exist. When the heat resisting layer is constructed by the conductive material, it is necessary to use it by combining with the above-mentioned insulating material. According to the circumstance, a plurality of heat resisting materials can be also used by combining. Those materials are formed by using various film forming methods such as plasma CVD, thermal CVD, optical CVD, LP-CVD, MO-CVD, sputtering, vapor evaporation, and ion beam cluster film formation or various methods of reforming materials such as ion implantation and the like. When the insulating material is formed on the semiconductor or metallic material and the resultant material is used as a supporting plate or the heat resisting layer or insulating layer is formed on a material of a low melting point and the resultant material is used as a supporting plate, it is desirable to determine the thickness of the insulating layer or heat resisting layer in consideration of the absorption of the second laser beam in a material to be used. For instance, when a carbon dioxide laser beam is used as a second laser beam and SiO_2 is formed as a material for the insulating layer or heat resisting layer, the film thickness is set to about 50 μm . When an insulating material such as a quartz glass plate is solely

used as a supporting plate, the dimension that is sufficiently thicker than the absorbing thickness of the laser is generally selected in order to maintain its mechanical intensity. Ordinarily, the value is equal to 0.3 to 0.5 mm. Preferably, it is set to 0.5 to 2.0 mm. The silicon layer 12 which is monocrystallized on the supporting plate 11 by the two-wavelength laser zone melting recrystallization is made of polysilicon or non-crystalline silicon. The silicon layer 12 is formed by using various film forming methods such as plasma CVD, thermal CVD, optical CVD, LP-CVD, MO-CVD, sputtering, vapor evaporation, and ion beam cluster film formation or various methods of reforming materials such as ion implantation and the like. There is also a case where the silicon layer 12 is shaped into an arbitrary form by using a normal photolithography method when it is discriminated that such a process is needed in the zone melting recrystallization. Specifically speaking, it is shaped into a stripe-form, an island-form, or a connected-island-form. As those purposes, in each case, it is an object to restrict a movement of silicon melt on the supporting plate 11, thereby improving a stability of a facet growth. It is a method which has often been used by the zone melting recrystallization. Doped polysilicon stripe portions 13 and 14 as impurity sources are formed by using the method similar to that for the polysilicon portion

12. It is assumed that the portions 13 and 14 are polysilicon which are doped in types which are opposite to each other in such a manner that when one portion is set to the P-type, the other is set to the n-type. It is desirable that a stripe interval of each of the portions 12, 13, and 14 is equal to 1 μm or less. The situation is shown in Fig. 9. The thickness of each of the silicon layers 12, 13, and 14 in a range of 0.1 to 5.0 μm can be used for the recrystallization. Preferably, it is set in a range of 0.3 to 1.0 μm . A surface protecting film 15 is indispensable for forming the monosilicon thin film by the zone melting recrystallizing method. It is formed in order to prevent a rounding phenomenon (bead-up phenomenon) by an evaporation or a surface tension of molten silicon in the zone melting recrystallizing procedure. Such a surface protecting layer 15 is made of an insulating material. As a desirable material, SiO_2 , SiO , Si_3N_4 , and SiN exist. The silicon layer 12 is formed by solely using the material or combining a plurality of materials. As a method of forming the surface protecting film 15, there are various film forming methods such as plasma CVD, thermal CVD, optical CVD, LP-CVD, MO-CVD, sputtering, vapor evaporation, and ion beam cluster film formation or various methods of reforming materials such as ion implantation and the like. Although the film

thickness is optimized in a range of about 0.5 to 5.0 μm and is formed, preferably, it is set to 1.0 to 2.0 μm . There is also a case where a surface protecting layer 3 is removed in a processing step of forming a semiconductor device by using the thin film semiconductor device according to the invention as a raw material.

[0011]

As a first laser beam in the two-wavelength laser zone melting recrystallization of the invention, a laser beam for emitting light of a wavelength existing in an absorbing zone (on the wavelength side shorter than about 1.2 μm) for silicone can be widely used. Specifically speaking, various lasers in a short wavelength region such as excimer laser, He-Cd laser, Ar laser, He-Ne laser, ruby laser, alexandrite laser, and YAG laser or semiconductor laser or the like can be used. From the viewpoint that the laser is set to a heat source to form a temperature profile necessary for the zone melting recrystallization, a laser in which an power that can be extracted is relatively large and which can be continuously generated and it is preferable to select it among the Ar laser, YAG laser, or semiconductor laser of a high power. As for the laser beams, in order to widen the irradiating region, a laser beam expander is inserted into the path of the beam, thereby enabling the beam to be enlarged. Further, it is also possible to synthesize and

use a beam by using a plurality of laser beams. As a beam shape in the case of irradiating onto the silicon layer, an uniform linear beam is preferable so as to be suitable for realization of the zone melting recrystallization. The beam shape can be linearly uniformed by using various optical machines. As mentioned above, it is possible to form a uniform linear beam by using a plurality of beams. Further, it is also possible to form a falsely linear beam by a high-speed scanning of the beam. As a second laser beam which is used to preheat the substrate, a laser beam which is absorbed into the insulating material can be widely used. Since the laser beam in an infrared region is widely absorbed into the insulating material, it is suitable as a second laser beam. Specifically speaking, a carbon dioxide laser or a carbon monoxide laser can be used. As a beam shape of the second laser beam, it is not always necessary that it is linear. In the case of irradiating it so as to be superimposed on the above-mentioned first laser beam, it is sufficient so long as it has a beam shape of an enough size to control a thermal profile in which silicon is melted by the heating of the first laser and is recrystallized. As shown in Fig. 10, when it is assumed that the length of the linearly formed first laser beam is set to L_1 , as a length L_2 of the second laser in the direction, a value to satisfy L_2

$> L_1$ is needed. Preferably, $L_2 > 1.2L_1$. Although the laser beam is generally obtained as a circle, it can be used in a long and narrow oval or substantially a rectangular form shaped by various means.

[0012]

Together with the first laser beam, the second laser is used as a heat source of the zone melting recrystallization of the silicon layer. The heating by the first laser beam is mainly used in order to melt silicon. On the other hand, the heating by the second laser beam is used in order to control a cooling solidification recrystallizing procedure of the molten silicon. Therefore, a region which is heated by the second laser beam has to exhibit a uniform temperature profile. For the purpose, it is necessary that the beam of the second laser beam exhibits a uniform power density in a wide region as compared with the beam of the first laser beam. It is possible to flat the beam power by using various optical devices such as kaleidoscope and segment mirror. In a manner similar to the case of the above-mentioned first laser beam, it is also possible that a plurality of laser beams are synthesized, thereby forming a flat synthetic beam. The temperature profile of the heating portion can be flattened by scanning the beam. As the laser beams, in addition to one of a continuous generating type, a

laser beam of a pulse generating type can be also used. In this manner, although the beam of the second laser beam is irradiated onto the substrate in such an arrangement that it almost surrounds the beam of the first laser beam, there is a case where even when a beam intensity is uniform, the temperature gradient occurs in a portion near the outer circumference of the beam of the second laser beam due to a large temperature difference between the beam inner portion and the beam outer portion. In this case, it is also possible to realize a flattening of the temperature by using a beam profile in which the outer circumference portion of the beam is emphasized.

[0013]

As for the first laser beam and second laser beam which are used in the two-wavelength laser zone melting recrystallization, in addition to the above-described construction, the intensities of the laser beams have to be modulated in accordance with a change in temperature of the irradiating location. In order to realize a melting recrystallizing temperature profile like the temperature gradient to decide a range of the temperature of molten silicon or an inclination of the facet plane of the solid-liquid interface, it is necessary to feedback control the powers of the laser beams to be irradiated. The reason is that a thermal quantity generated by the absorption of the

[0014]

[Embodiments]

Embodiment 1

In the embodiment, an Ar laser beam is used as a first laser beam and a carbon dioxide laser beam is used as a second laser beam. The substrate on which a recrystallized film is made is formed as follows. In Fig. 11, a transparent quartz glass plate having a thickness of 1.0 mm is used as a supporting plate 11. The glass supporting plate 11 is cleaned by an ordinary method and a polysilicon thin film is formed as a silicon layer 12 which is monocrystallized by the zone melting recrystallization by using a low pressure chemical vapor deposition system (LPCVD system). The film thickness is 3500 Å. The polysilicon thin film 12 is shaped into a stripe form having a width of 500 μm by the photolithography method as shown in Fig 12. On both sides of the stripe, the P-type polysilicon stripe 13 and n-type polysilicon stripe 14 are formed by the method similar to the above. The width of each of the P-type polysilicon stripe and n-type polysilicon stripe is set to 50 μm and each interval between the stripes is set to 1 μm . The SiO_2 thin film 15 is formed as a surface protecting layer upon zone melting recrystallization at a thickness of 1.2 μm on the polysilicon 12, P-type polysilicon 13, and n-

type polysilicon 14 by using the LPCVD system. The polysilicon thin film sample formed as mentioned above is heated and melted by simultaneously irradiating the above-mentioned Ar laser beam (first laser beam) and the carbon dioxide laser beam (second laser beam) and is monocrystallized by the zone melting recrystallization. The irradiating method of the laser will now be described hereinbelow. In order to obtain non-doped monosilicon after completion of the recrystallization, the laser beams are irradiated as shown in Fig. 13. Both of the first laser beam and the second laser beam are adjusted so as to be irradiated to only the polysilicon stripe 12 (a first laser irradiating region is shown by reference numeral 16 and a second laser irradiating region is shown by reference numeral 17). Upon recrystallization, not only the sample is irradiated by the laser beams but also it is preheated at 900 °C in a furnace. A scanning speed of the laser beam is 1.0 mm/sec. Although generating conditions of the laser beams cannot be unconditionally described depending on a method of converging a lens or the like, conditions to finely recrystallize can be obtained by the Ar laser beam (first laser beam) of 1W and the carbon dioxide laser beam (second laser beam) of 10W. In order to obtain the P-type monosilicon thin film or n-type monosilicon thin film which will be described hereinbelow, the melting recrystallization

is performed due to the irradiating position of the laser beams and generating conditions or by increasing the number of laser beams to be used as necessary. A scanning speed and a temperature in the furnace are set on the same conditions as those mentioned above. A method of forming the P-type polysilicon thin film is shown in Fig. 14. The carbon dioxide laser beam (second laser beam) 17 is irradiated so as to irradiate to the P-type polysilicon stripe 13. The P-type polysilicon stripe 13 is irradiated by the carbon dioxide laser beam 17 but it is not melted. A P-type impurity element contained in the P-type polysilicon stripe 13 are diffused by heating by the carbon dioxide laser beam. When the polysilicon stripe 12 is melted and recrystallized, the element is melted into the stripe and recrystallized. A method of increasing the impurity element content more than that in the case in Fig. 14 is shown in Fig. 15. Both of the Ar laser beam (first laser beam) 16 and the carbon dioxide laser beam (second laser beam) 17 are irradiated so as to irradiate the P-type polysilicon stripe 13. In this case, the P-type polysilicon stripe 13 is melted, so that the P-type impurity element more than that in the case in Fig. 14 is generated. A method of obtaining the n-type polysilicon thin film is shown in Figs. 16 and 17. By the same method as that of obtaining the P-type monosilicon thin film as mentioned above, the n-type

monosilicon thin film having the impurity content that is larger than that of the irradiating method in Fig. 16 can be obtained in Fig. 17. In case of the irradiating conditions in Figs. 14, 15, 16, and 17, as compared with the irradiating conditions in Fig. 13, the impurity element is contained, so that a supercooling easily occurs. Consequently, as for the power of the Ar laser, the power density is set so as to be lower than that of the case in Fig. 13 by about 10%. As mentioned above, by adjusting the irradiating position and the powers of the laser beams during the scanning of the melting recrystallization, the monosilicon thin film having the P-type region 13 and n-type region 14 as shown in Fig. 18 can be obtained. Fig. 18 is an enlarged view that is larger than those in Figs. 13, 14, 15, 16, and 17 and shows a situation in which a non-doped region, the P-type region 13, and n-type region 14 can be arbitrarily formed during the recrystallizing process. As an application example of the thin film semiconductor device, there is a formation of a complementary FET device (C-MOS) by using monocrystalline regions of the P-type and n-type.

[0015]

[Effects]

According to the invention, a new type thin film semiconductor device constructed by an impurity

monocrystalline semiconductor region having P-type and n-type regions and a monocrystalline or polycrystalline semiconductor region having no impurity every specific region on one semiconductor layer can be provided. According to the invention, since various semiconductor regions having materials suitable for the object and applications exist on the same substrate, a degree of freedom in device design and manufacturing process is widened and a device of a high performance can be also provided. Since the thin film semiconductor device of the invention has two impurity semiconductor regions such as P-type region and n-type region on the same insulating substrate, when a semiconductor device is formed by using the member, a processing step of introducing impurities such as ion implantation or the like can be omitted. Consequently, the process can be shortened and the yield can be improved. When the method of the invention is used, the thin film semiconductor device of the invention can be efficiently obtained by using good characteristics of the controllability of the laser beam. According to the invention, since the impurity sources of both types such as P-type and n-type exist in the periphery of the region to be monocrystallized, the non-doped region, P-type region, and n-type region can be arbitrarily formed by selecting the laser irradiating method during the monocrystallizing

process. Consequently, as a member of a circuit such as an ASIC in which it can be expected that a process is changed, a desirable member can be provided.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1]

Schematic diagram showing that a polycrystallizing is performed depending on a state of a temperature distribution in a melting recrystallization.

[Fig. 2]

Schematic diagram showing that a monocrystallizing is performed depending on a state of the temperature distribution in the melting recrystallization.

[Fig. 3]

(a) shows a desirable temperature distribution of a silicon thin film in the direction (arrow) of recrystallization, in which a portion of a temperature that exceeds the melting point of silicon of 1412°C is a portion where the melting recrystallization is performed; and

(b) is a schematic view of a thin film semiconductor device constructed by an insulating substrate having a layer of a silicon thin film, in which reference numeral 8 denotes a melting portion of silicon.

[Fig 4]

State diagram of a solid-liquid interface of molten silicon.

[Fig. 5]

Cross sectional plan view of a thin film semiconductor showing a state of a zone melting recrystallization of the invention.

[Fig. 6]

Temperature profile of a heating region by two kinds of laser beams of the invention.

[Fig. 7]

Schematic view of a zone melting method using a linear heater.

[Fig. 8]

Cross sectional plan view showing an example of a thin film semiconductor device of the invention.

[Fig. 9]

Plan view observed from a portion taken along the line X-X in Fig. 8.

[Fig. 10]

Diagram showing a desirable relative positional relation between a first laser beam and a second laser beam which can perform a two-wavelength laser zone melting recrystallization that is used in the thin film semiconductor device of the invention.

[Fig. 11]

Cross sectional plan view of a thin film semiconductor device of an embodiment of the invention.

[Fig. 12]

Plan view observed from a portion taken along the line X-X in Fig. 11.

[Fig. 13]

Schematic view for explaining irradiating conditions of the first laser beam and second laser beam in the invention.

[Fig. 14]

Schematic view for explaining the other irradiating conditions of the first laser beam and second laser beam in the invention.

[Fig. 15]

Schematic view for explaining the other irradiating conditions of the first laser beam and second laser beam in the invention.

[Fig. 16]

Schematic view for explaining the other irradiating conditions of the first laser beam and second laser beam in the invention.

[Fig. 17]

Schematic view for explaining the other irradiating conditions of the first laser beam and second laser beam in the invention.

[Description of Reference Numerals]

1... insulating substrate

2... semiconductor layer (silicon layer)

- 3... surface protecting layer
- 4... first laser beam
- 5... second laser beam
- 8... melting zone
- 11... insulating substrate
- 12... semiconductor region containing no impurity
- 13... P-type active semiconductor region
- 14... n-type active semiconductor region
- 15... surface protecting layer
- 16... first laser beam (irradiating portion)
- 17... second laser beam (irradiating portion)

[Fig. 1]

a)... Polycrystal

b)... Low

c)... Temperature

d)... High

[Fig. 2]

a)... Polycrystal

b)... Monocrystal

c)... Low

d)... Temperature

e)... High

[Fig. 3]

i)... Temperature

ii)... Position

[Fig. 4]

a)... Supercooling region

b)... Solid (monocrystal)

c)... Melt

[Fig. 6]

a)... Temperature